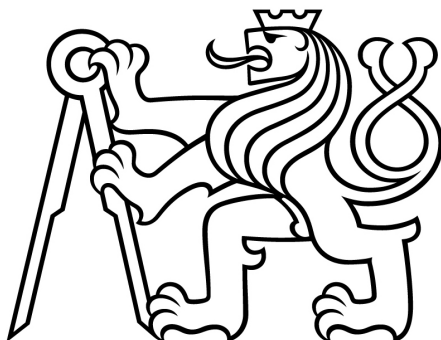


**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**TEZE
DISERTAČNÍ
PRÁCE**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav přístrojové a řídicí techniky

odbor Přesné mechaniky a optiky

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

Metody přípravy elektrod a obrobků pro elektroerozivní obrábění

Ing. Petr Šindelář

Doktorský studijní program: Strojní inženýrství

Studijní obor: Konstrukční a procesní inženýrství

Školitel: Doc. Ing. Jan Hošek, Ph.D.

Teze disertace k získání akademického titulu "doktor", ve zkratce "Ph.D."

Název anglicky: Methods of preparing EDM electrodes and parts

Disertační práce byla vypracována v prezenční formě doktorského studia na Ústavu přístrojové a řídicí techniky, odbor Přesné mechaniky a optiky Fakulty strojní ČVUT v Praze.

Disertant: Petr Šindelář

Ústav přístrojové a řídicí techniky, odbor Přesné mechaniky a optiky, Fakulta strojní ČVUT v Praze, Technická 4, Praha 6

Školitel: Doc. Ing. Jan Hošek, Ph.D.

Ústav přístrojové a řídicí techniky, odbor Přesné mechaniky a optiky, Fakulta strojní ČVUT v Praze, Technická 4, Praha 6

Oponenti:

Teze byly rozeslány dne:

Obhajoba disertace se koná dne v hod.

v zasedací místnosti č. 17 (v přízemí) Fakulty strojní ČVUT v Praze, Technická 4, Praha 6

před komisí pro obhajobu disertační práce ve studijním oboru Konstrukční a procesní inženýrství .

S disertací je možno se seznámit na oddělení vědy a výzkumu Fakulty strojní ČVUT v Praze, Technická 4, Praha 6.

předseda oborové rady oboru
Fakulta strojní ČVUT v Praze

Abstrakt: Práce se zabývá metodami elektroerozivního obrábění. Autor zde shrnul výřez ze stávajícího poznání v oblasti elektroerozivního obrábění. Autor navrhl použití tří nových typů vodiček pro drátové řezání a vyhodnotil jejich přesnost a životnost. Dále zde popisuje dvě zařízení pro drátové řezání, které zkonstruoval a vyrobil pro přípravu mikroelektrod. Dále pak navrhl novou metodu EDM řezání a obrábění pomocí průběžného pásku. Pro tuto metodu zkonstruoval a vyrobil funkční zařízení a s jeho pomocí vyhodnotil účinnost této metody.

Klíčová slova: EDM, drát, pásek, elektrody, elektroerozivní obrábění

Obsah

1	Úvod	6
2	Stav problematiky	7
3	Cíle dizertační práce	9
4	Metody zpracování a výsledky	11
4.1	Zařízení pro obrábění průběžným páskem	11
4.2	Experimenty s průběžným páskem	12
4.3	Zařízení pro obrábění drátem	13
4.4	Experimenty s vodítky drátu	14
5	Zhodnocení a závěr	16
6	Summary	18
	Výsledky a konference autora	19
	Seznam použité literatury	21

1. Úvod

Elektroerozivní obrábění (EDM) využívá k obrábění elektrický proud. Pomocí zapínání a vypínání zdroje v mikrosekundových intervalech vytváří jiskry, které odebírají materiál [1]. Výhodou EDM je možnost obrábět těžkoobrobitelné kovy a fakt, že do obrobku nezanáší mechanické pnutí. Nevýhodou je nízká produktivita výroby. Elektroeroze je přesná, ale zdlouhavá.

Mezi základní způsoby EDM patří hloubení, kdy je obráběcí elektroda postupně zasunována do materiálu obrobku, až se vytvoří její negativní kopie. Dále drátové řezání, využívající jako nástroj tenký drát. Drátové řezání je rychlejší než hloubení, obrábí se při něm pouze materiál kontury. Mezi další důležité způsoby patří rychlé vrtání děr, které je schopno hloubit tenké otvory v rádech desítek mikrometrů pomocí rapidního vyplačování nečistot proudem dielektrika.

U hloubení je nevýhodou, že elektroda se při obráběcím procesu opotřebovává a výsledná kontura tak není úplně přesná. U drátového řezání je nevýhodou, že drát je velmi tenký a naráz odebírá jen malé množství materiálu.

Metoda předkládaná v disertační práci je kombinací těchto dvou metod. K obrábění používá průběžný pásek, který eliminuje nevýhody obou metod. Při řezání drátem se běžně používají ekonomicky náročná diamantová, nebo rubínová vodítka. V práci jsem zkoumal možnost nahradit tato vodítka třemi novými typy vodítek a jejich vliv na geometrii řezu a jejich životnost.

2. Stav problematiky

V mé práci postupně shrnuji princip EDM[1], je zde popsán vznik jisker, tvorba plasmového kanálu a zánik jisker. Dále shrnuji historii EDM[2] od prvního použití elektrického výboje k obrábění B.R. a N.I. Lazarenkovými. Přes zapojení číslicového řízení strojů a zdokonalování elektroniky a polohování.

V další části rozebírám základní způsoby EDM[3][4][5]. Nejdříve se věnuji obrábění blokovými elektrodami. Popisují již zavedené způsoby výroby elektrod jako je spékání grafitového prášku, konvenční obrábění a tváření. Shrnuji význam a způsoby vyplachování třísky. Dále popisují novější způsoby, jako je například použití porézní elektrody, nebo elektrody sestavené z trubiček.

Zaměřuji se na drátové řezání. Tato metoda má tu hlavní výhodu, že obrábí pouze konturu obrobku, čímž se částečně stírá nízká produktivita EDM. Z tohoto důvodu je drátové řezání v mnoha případech dokonce ekonomičtější, než konvenční obrábění. Zmiňuji materiály a typy drátů, jako například povlakované dráty, dráty s abrazivní vrstvou atd. Pro výrobu plátek z monokrystalických materiálů se používá vícenásobný drát.

Dalším ze způsobů EDM je rychlé vrtání děr, jedná se o hloubení velmi tenkých otvorů pomocí duté rotující elektrody, jejímž středem je pumpována vyplachující dielektrická kapalina. Rychlost EDM vrtání dosahuje i 50 mm za minutu. Zaměřuji se na tvar, materiál a povlak vrtacích elektrod[3].

Dále popisují mikroobrábění, obrábění nevodivých materiálů, kdy je povrch obrobku opatřen vodivým povlakem. Úpravu povrchu po EDM a zmiňuji i metodu BEAM.

V druhé hlavní části shrnutí současného stavu se podrobněji zaměřuji na základní prvky EDM, jsou to obráběcí elektrody, dielektrikum, napájecí zdroj a pevná vodítka drátu.

Popisují základní způsoby výroby a materiály obráběcích elektrod pro hloubení. Rozebírám vlastnosti obrobku po povrchu, při použití různých materiálů elektrod.

Shrnuji využití a vlastnosti dielektrik na bázi oleje, vody a plynu. Základní funkcí dielektrika je zajistit pokud možno stálý odpor mezi obráběcí a obráběnou elektrodou. Odvod a zchlazení třísek. Zaměřuji se na výhody a nevýhody různých metod

vyplachování[6][7]. Pro hloubení se většinou používají dielektrika na bázi oleje, pro drátové řezání a EDM vrtání spíše na bázi vody. Nesmíme také zapomínat na ekologické aspekty použití dielektrik.

Rozebírám dva základní typy zdrojů, tzn. zdroj využívající RC obvod a tranzistorový spínaný zdroj.

Dále se zaměřuji na standartní provedení vodítek drátu, která jsou většinou řešena jako průvlačná diamantová, nebo rubínová. Jedná se buďto o průvlačný otvor, nebo podpůrné vodítko, kterému je drát opásán pro takzvané EDM broušení.

3. Cíle dizertační práce

Předkládaná disertační práce řeší dvě hlavní témata týkající se zlepšení možností výroby EDM mikroelektrod pomocí drátořezného obrábění.

První z témat se zabývá myšlenkou zvýšení produktivity drátového EDM obrábění využitím pásku na místo pouhého drátu. K tomuto účelu zkonstruji a vyrobím originální zařízení. Toto zařízení bude používat místo klasického drátu s průřezem kruhu drát o průřezu obdélníku (pásek), který bude pomocí pevných kovových vodiček veden do místa řezu. Cílem práce je otestovat funkčnost zařízení a jeho efektivnost.

Zařízení bude pracovat ve dvou režimech. Prvním režimem je obrábění plochou stranou pásku. Předpokladem je, že pomocí zvýšení účinné plochy drátu bude dosaženo většího počtu naráz probíhajících výbojů a tím se zvýší i úběr materiálu. V druhém režimu, bude pásek natočen kolmo k řezu. V tomto případě by styková plocha mezi nástrojem a obrobkem sice nebyla zvýšena. Předpokladem ale je, že zvýšení příčného rozměru drátu umožní zvýšení parametrů řezání tzn. proudu, napětí a poměru on-time / off-time EDM stroje. Pokud dojde u klasického drátu k překročení kritických hodnot těchto parametrů, může totiž dojít k přetržení drátu, což rapidně snižuje produktivitu, kvůli opětovnému navlékání drátu. Mým cílem je zvýšení úběru materiálu a zvýšení rychlosti řezání páskem oproti použití drátu.

Dalším tématem, kterým se v této práci budu zabývat je obrábění elektrod pro mikroobrábění. Pro tento účel zkonstruji a vyrobím drátořezné zařízení. Toto drátořezné zařízení se bude připínat k stolu EDM stroje Sodick APL1 a bude umožňovat obrábění různých typů elektrod, které bychom bez něj vyrábět nemohli. Pomocí drátořezného zařízení bude možno vyrábět elektrody například mnohoúhelníkových tvarů, elektrody s různými šterbinami apod.

Při realizaci takto zkonstruovaného drátořezu je problémem vysoká cena vodiček drátu, která jsou obvykle vyrobená z rubínu nebo diamantu. Rozhodl jsem se proto, zamyslet se nad otázkou, jestli by nebylo možné tato vodítka nahradit jiným levnějším typem. V rámci této disertační práce navrhu nové typy vodiček a experimentálně ověřím, zda-li je možné s jejich použi-

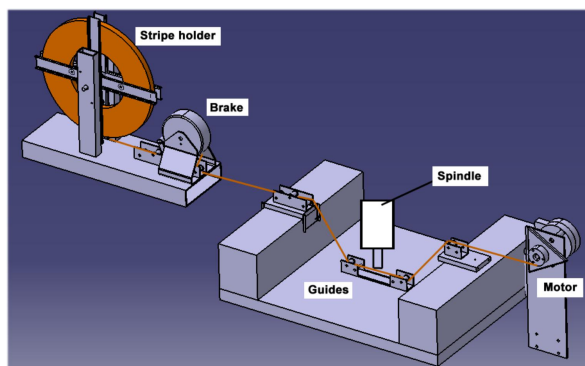
tím úspěšně vyrábět elektrody pro mikroobrábění. Výzkumným úkolem bude otestovat realizovatelnost a funkčnost tří nových typů vodiček drátu, které zajišťují konstantní polohu drátu při obrábění. Zkoumaná vodička budou postupně realizována jako vyerodovaná V drážka. Druhý typ bude tvořen dvojicí na sebe kolmých čepů. Třetí typ bude vytvořen pomocí vysoustruženého osazení. Toto nové řešení otestuji z pohledu vlivu na šířku obrobené drážky a vlivu opotřebení abrazí.

4. Metody zpracování a výsledky

V mé práci jsem se soustředil na dvě základní metody, obrábění průběžným páskem a náhradu diamantových vodítek levnějšími ocelovými. Pro obě témata jsem vždy zkonstruoval a vyrobil jedno, nebo několik zařízení a pomocí nich jsem poté vyhodnocoval funkčnost a účinnost jednotlivých metod.

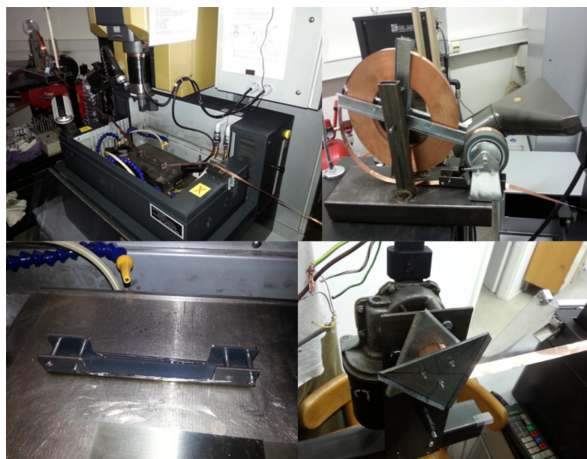
4.1 Zařízení pro obrábění průběžným páskem

Konstrukce zařízení je vyobrazena na modelu obr. 4.1 a vlastní realizace je vidět na obr. 4.2[8].



Obrázek 4.1: Zařízení používající průběžný pásek

Zařízení se skládá z navijáku pásku, poháněného stejnosměrným motorem. Pásek je odvíjen ze zásobníku, na němž je osazena brzda. Brzda je tvořena gumovým kolem a pružinami (tato brzda byla později nahrazena průběžnou brzdou ze dvou plastových kvádrů). Vodítka jsou vyrobena z ocelového profilu jako jeden kus a vodíci prvky jsou v nich nalisované hřídele z ocelové struny[8].



Obrázek 4.2: Zařízení používající průběžný pásek

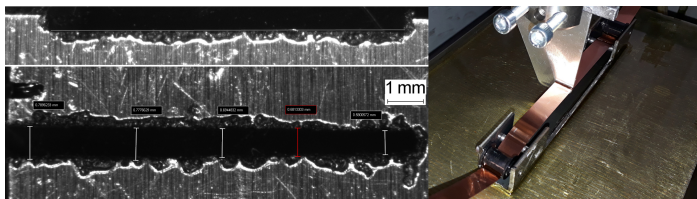
4.2 Experimenty s průběžným páskem

K ověření funkčnosti zařízení s průběžným páskem jsem postupně provedl experimenty při řezání s tenkou i širokou stranou pásku (obr. 4.3).

Experiment při obrábění tenkou stranou pásku měl za účel ověřit, zda dojde k navýšení úběru materiálu a ke zkrácení obráběcího času oproti použití drátu stejného průřezu, tedy 0,1 mm. Při dosažení mezních obráběcích podmínek se drát trhá, což značně ovlivňuje produktivitu výroby. U pásku je možné nastavit výrazně vyšší podmínky obrábění a dosáhnout tak rychlejšího obrábění. Po nastavení vyšších obráběcích podmínek, které by při řezání drátu již nebylo možné použít, došlo k navýšení úběru materiálu 15,88 krát a zkrácení obráběcího času 3,03 krát (obr. 4.3 vlevo dole).

U konfigurace při obrábění širokou stranou pásku bylo smyslem experimentu prozkoumat výslednou konturu povrchové vrstvy. Tato metoda by totiž nahrazovala EDM hloubení. Zlepšení spočívá v tom, že tvar spodní kontury vyerodovaného povrchu není ovlivněn opotřebením elektrody, protože pásek se neustále obnovuje. I přes deformace v pásku (nejedná se o kalibrovaný

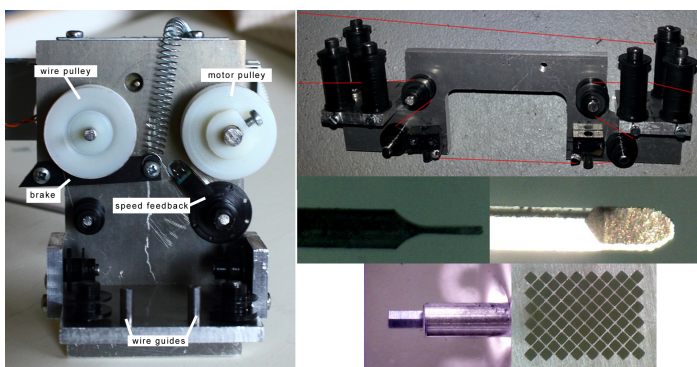
pásek vyrobený pro EDM) vykazuje vyerodovaná drážka přijatelnou rovinnost (obr. 4.3 vlevo nahoře).



Obrázek 4.3: Experimenty s páskem

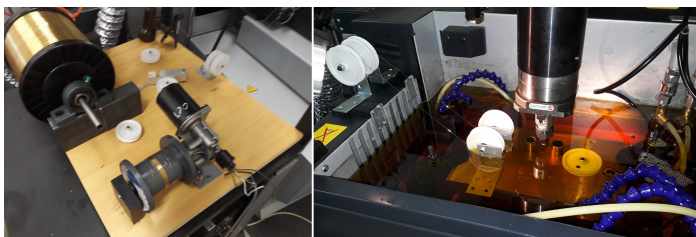
4.3 Zařízení pro obrábění drátem

Pro experimenty s EDM jsem sestrojil dvě drátořezná zařízení. První se umísťuje celé do prostoru stroje Sodick AP1L (obr. 4.4).



Obrázek 4.4: Kompaktní drátořezné zařízení

Zařízení je osazeno na hliníkovém plechu a skládá se z navíjecího motoru, polohovacích kladek, pevných vodičků a brzděné kladky s navinutým drátem[9]. Vpravo nahoře je vyobrazen speciální otočný nástavec, který umožňuje výrobu rotačních prvků mikroelektrod. Vpravo dole jsou vyobrazeny elektrody, vyrobené pomocí drátořezného zařízení[10][11].

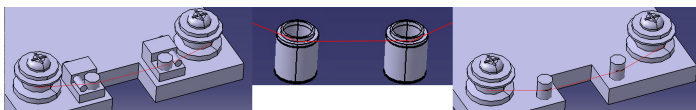


Obrázek 4.5: Robustní drátořezné zařízení

Na obr. 4.5 je vidět robustní zařízení umožňující snadnou výměnu různých typů drátů. Navíjecí a odvíjecí část je umístěna vně hloubičky a drát je přes dveře veden dovnitř EDM stroje. Na stůl, nebo do vřetena hloubičky se pak mohou umísťovat různé druhy vodiček.

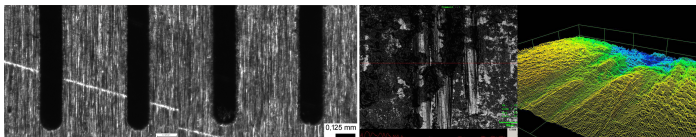
4.4 Experimenty s vodičkou drátu

Pro experimenty jsem postupně používal tři typy vodiček dle obr. 4.6. První typ je složen z dvou na sebe kolmých ocelových strun, druhý typ je tvořen osazením na trubce a třetí je tvořen jako V-zářez do ocelové struny.



Obrázek 4.6: Zkoumaná vodička

Pro všechny typy vodiček jsem provedl sérii experimentů, vyraboval jsem několik drážek (obr. 4.7 vlevo) a vyhodnocoval jejich přesnost. U všech tří typů vodiček byla naměřena směrodatná odchylka tloušťky drážky do ± 3 mikrometrů. Jedná se odchylku, která spadá do nejistoty měření s přístrojem Navitar Zoom 6000. Vedení drátu je tedy velmi přesné a drážky se s hloubkou nezužují, ani nerozšiřují. Byla tedy prokázána vhodnost všech tří typů vodiček pro použití při drátovém EDM řezání.



Obrázek 4.7: Zkoumaná vodítka

U složených vodítek bylo provedeno měření abraze pomocí 3D profilu získaného z konfokálního mikroskopu (obr. 4.7vpravo). Měření byly podrobeny všechny čtyři ocelové hřídele, z kterých se vodítka skládala. Největší míra abraze byla naměřena 4 mikrometry za hodinu. Jedná se již o značnou odchylku, ovšem pro výrobu elektrod, jejichž velikost je většinou v řádu stovek mikrometrů je tato odchylka přijatelná. Při znalosti opotřebení je tuto odchylku možné lineárně kompenzovat.

5. Zhodnocení a závěr

V rámci této disertační práce jsem řešil problém realizace mikroelektrod pro následné EDM obrábění, na základě prostudované literatury i vlastních experimentálních zkušeností jsem našel několik oblastí, které jsou stále problematické a vyžadují řešení.

Prvním mým cílem bylo zlepšení produktivity obrábění pomocí použití průběžného pásku namísto drátu. Vycházel jsem z předpokladu, že při zvětšení průřezu drátu bude možné použít silnějších podmínek obrábění.

Pro obrábění pomocí průběžného pásku jsem zkonstruoval a vyrobil originální zařízení, které jsem následně otestoval ve dvou konfiguracích. Za prvé v řezné konfiguraci tenkou stranou pásku s rozměrem 0,1mm a za druhé širokou stranou pásku s rozměrem 10 mm. Následně jsem provedl experimenty, které prokázaly, že obě konfigurace jsou použitelné pro EDM obrábění[8].

Konfigurace při řezání páskem tenkou stranou byla použita s výrazně silnějšími podmínkami, než jaké byly možné při použití drátu 0,1 mm. Tím pádem se výrazně zvýšil úběr materiálu (15,88 krát). Toto zlepšení je možné dále navyšovat další optimalizací řezných podmínek. Čas potřebný pro vyrodování drážky dlouhé 10 mm se snížil 3,03 krát. Kvalita povrchu se při řezání páskem zhoršila. Je to dáno tím, že při silnějších obráběcích podmínkách se tvoří větší krátery na povrchu obrobku. Pro zlepšení jakosti povrchu navrhuji zařazení dokončovacích obráběcích cyklů.

Druhým mým cílem bylo otestování nově navržených druhů vodiček pro přesné vedení drátu při drátovém řezání. Pro tento cíl jsem se rozhodl z důvodu finální náročnosti standartních rubínových, nebo diamatových vodiček[9][10]. Navrhl jsem tři typy přesných vodiček a ověřil jejich funkčnost. První typ vodiček byl navržen jako V-drážka v ocelové struně. Druhý typ vznikl složením dvou na sebe kolmých ocelových strun. Třetí typ vznikl vysoustružením osazení do ocelové trubky.

Série pokusů ukázala, že odchylka šířky drážek při použití těchto vodiček je +/- 3 mikrometry. Dále jsem zkoumal životnost vodiček složených ze dvou na sebe kolmých strun a zjistil, že po odvinutí 6000 m wolframového drátu o průřezu 0,050 mm se vodička vlivem abraze opotřebovala maximálně o 134 mikrome-

trů. Po přepočtení na čas se jedná o míru abraze 4 mikrometry za hodinu. Jedná se již o znatelnou odchylku, ale pro výrobu elektrod, jejichž velikost se pohybuje v řádu stovek mikrometrů je tato odchylka přijatelná. Při znalosti míry abraze je tuto odchylku možné lineárně kompenzovat.

Pro své experimenty jsem postupně zkonstruoval a vyrobil dvě zařízení pro navíjení drátu.

Nejdříve jsem vyrobil fixní miniaturní zařízení[9], kterým je možno osadit stroj Sodick AP1L. Miniaturní drátořez je vhodný pro přípravu elektrod pro mikroobrábění. Drátořez odvíjí drát, který je pomocí pevných vodítek přesně naveden k obráběné elektrodě. Celé zařízení se vejde do obráběcího prostoru stroje a je připevněno k polohovatelnému stolu stroje. Po úspěšné realizaci a otestování fixního zařízení jsem se rozhodl realizovat modifikovanou verzi, která již není fixní, ale zcela pohyblivá se 4 pracovními osami ve vřetenu stroje s pracovními rozsahy. Zásadní problém spočíval ve vyřešení přívodu a odvodu drátu při jakémkoliv rotačním natočení vřetene. Tento problém se podařilo vyřešit pomocí důmyslného systému kladek. Při natočení vřetena se drát přesunuje mezi jednotlivými kladkami a je tak vždy veden od navíjecí části zařízení k pevným vodítkům.

Jelikož u prvního drátořezu nebylo možné jednoduše měnit dráty a bylo nutné vždy převíjet drát na speciální špulku, rozhodl jsem se k výrobě robustnějšího zařízení. Toto zařízení je osazeno z části vně a z části uvnitř obráběcího prostoru hloubičky. Navíjecí část s motorem a odvíjecí část s brzdou je umístěna na společné platformě mimo stroj. Drát je přes kladky na dveřích hloubičky veden k vodítkům, která mohou být upevněna na stole i ve vřetenu hloubičky. Ve vřetenu je možné použít i speciální pohyblivý otočný nástavec, umožňující otáčení o $\pm 180^\circ$.

Pomocí drátořezného zařízení jsem vyrobil několik nově realizovatelných typů elektrod pro další vědecké aplikace realizované naším ústavem[9][10][11].

6. Summary

This thesis concerns of two methods of preparing EDM electrodes and parts. The first method examines the use of a EDM stripe instead of a wire. The second method examines the use of three new types of steel wire guides for EDM.

The author covered the actual state of the art of research and development in electroerosive machining. He summarized the state of ram EDM, wire EDM, fast EDM drilling and new approaches in EDM. He also summarized the use of EDM electrodes, dielectric fluids, power supplies and wire guides in EDM.

The author designed a new method of using a stripe for EDM cutting. For this method the author designed and manufactured a working tool and evaluated the effectivity of this method when using the thin and the thick side of the cutting stripe.

The author described two wirecutting tools, which he designed and built for preparing microelectrodes. The first compact tool can be placed entirely into the EDM sinker and can produce microelectrodes. The second tool is too big to fit into the working area of the sinker and its motor and wire spindle are placed outside of the sinker. The wire is then guided into the working area with a set of rollers and wire guides.

With these tools the author was able to evaluate the precision and durability of the three new types of EDM wire guides, he designed.

Both methods were successfully tested. The EDM stripe's material removal rate was 15,88 times bigger than that of a wire with the same cross-section size. The speed of cutting a 10 mm long cavity was 3,03 times faster. The precision of the three types of wire guides was tested and it was evaluated, that the deviation of the cut was within ± 3 micrometers, which is the deviation of the measuring device. The abrasion was tested with one type of wire guides and it was estimated, that the maximum deviation caused by abrasion is 4 micrometers / hour. It is an acceptable deviation, which can be compensated for, with this knowledge.

Výsledky a konference autora

- [1] P. ŠINDELÁŘ *Robots for optical media replication and EDM wirecutter* The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, 2012 No. 41, 87-89 Studentská tvůrčí činnost 2015. Praha, 16.04.2015. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní. 2015, ISBN 978-80-01-05727-8. Dostupné z: <http://stc.fs.cvut.cz/pdf15/5554.pdf>
- [2] P. ŠINDELÁŘ *CONSTRUCTION AND USE OF A STRIPE EDM TOOL* The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, 2014 No. 45, 78-80
- [3] HOŠEK J., ŠINDELÁŘ P. *Feature limits of electro-discharge machining* Nové metody a postupy v oblasti přístrojové techniky, automatického řízení a informatiky, Herbertov, 19.-21. května, 2014.
- [4] P. ŠINDELÁŘ *Manufacturing electrodes for micro EDM* The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, 2013 No. 42, 88-90
- [5] P. ŠINDELÁŘ *Preparing electrodes for micro EDM milling* Proceedings of the annual meeting New Methods and Procedures in Automatic Control, Instrumentation and Informatics. New Methods and Procedures in Automatic Control, Instrumentation and Informatics. Turnov, 20.05.2013 - 22.05.2013. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní. 2013, ISBN 978-80-01-05257-0.
- [6] P. ŠINDELÁŘ *Design of a small lowcost tool for making μ EDM electrodes* Proceedings of the annular meeting New Methods and Procedures in Automatic Control, Instrumentation and Informatics. Nové metody a postupy v oblasti přístrojové techniky, automatického řízení a informatiky. Roztoky u Křivoklátu, 28.05.2012 - 30.05.2012. Praha: Ústav přístrojové a řídicí techniky FS ČVUT. 2012, s. 5-8. ISBN 978-80-01-05061-3.
- [7] P. ŠINDELÁŘ *Design Of A Small Lowcost Tool For Making microEDM Electrodes* The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, 2012 No. 41, 87-89

- [8] P. ŠINDELÁŘ, J. HOŠEK *Drátořežný nástroj pro přípravu erozivních elektrod* Funkční vzorek - 2012

Vědecké konference

- MECAHITECH 2012 - Prezentace článku na konferenci
- MECAHITECH 2014 - Prezentace článku na konferenci
- Konference studentské tvůrčí činnosti STČ 2015 - prezentace příspěvku na konferenci - druhé místo v doktorandské sekci

Seznam použité literatury

- [1] POCO GRAPHITE INC. *EDM Technical Manual*
<http://edmttechman.com>, Poco Graphite Inc., 30.1.2015
- [2] B.M. SCHUMACHER, R. KRAMPITZ, J.P. KRUTH *Historical phases of EDM development driven by the dual influence of "Market Pull" and "Science Push"*. Procedia CIRP 6 (2013) 5 – 12
- [3] RELIABLE EDM *Complete EDM Handbook*
<http://www.reliableedm.com/Complete-EDM-Handbook.php>, Reliable EDM , 30.1.2015
- [4] K.H. HO, S.T. NEWMAN *State of the art electrical discharge machining (EDM)*
International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 43 #13, 1287-1300, 2003
- [5] K.P. RAJURKAR, M.M. SUNDARAM, A.P. MALSHE *Review of Electrochemical and Electrodischarge Machining*
Proceedings of the Seventeenth CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining (ISEM) Procedia CIRP 6-0, 2013, 13-26,
- [6] SUDHANSHU KUMAR, HARSHIT K. DAVE, KEYUR P. DE-SAI *Experimental investigation on performance of different tool movement strategies in EDM process for boring operation* The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016 vol. 87, 1609 - 1620
- [7] M. MUNZ, M. RISTO, R. HAAS *Specifics of Flushing in Electrical Discharge Drilling* Procedia CIRP, 2013 vol. 6, 83 - 88
- [8] P. ŠINDELÁŘ *CONSTRUCTION AND USE OF A STRIPE EDM TOOL* The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, 2014 No. 45, 78-80
- [9] P. ŠINDELÁŘ *Design Of A Small Lowcost Tool For Making microEDM Electrodes* The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, 2012 No. 41, 87-89

- [10] P. ŠINDELÁŘ *Manufacturing electrodes for micro EDM*
The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Me-
chatronics, 2013 No. 42, 88-90

- [11] HOŠEK J., KOMM M. *Fine strut grid for plasma sensors*
The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Me-
chatronics, 2013 , No. 44, 51-55.